

## EVALUACIÓN DE SEGMENTACIÓN EN IMÁGENES DE DRON PARA IDENTIFICACIÓN DE MAJO (*Oenocarpus bataua*), ASAÍ (*Euterpe precatoria* Mart.) Y PALMERA COMÚN (*Phoenix dactylifera*) EN TRES COMUNIDADES DEL MUNICIPIO DE SAN BUENAVENTURA

**Segmentation assessment in drone images for identification of majo (*Oenocarpus bataua*), asai (*Euterpe precatoria* Mart.) and common palm tree (*Phoenix dactylifera*) in three communities of the municipality of San Buenaventura**

Yuri Sandoval Montes<sup>1</sup>, Luis Ernesto Cuenca Usmaio<sup>2</sup>, Javier Nuñez Villalba<sup>3</sup>

### RESUMEN

La falta de información sobre la distribución espacial de majo (*Oenocarpus bataua*), asai (*Euterpe precatoria* Mart.) y palmera común (*Phoenix dactylifera*) dificulta su conservación y manejo sostenible. Este estudio tuvo como objetivo determinar dicha distribución mediante técnicas de segmentación, evaluando la precisión de tres softwares para identificar la herramienta más efectiva. eCognition logró una precisión geométrica superior (PSE mínimo: 0.021), ajustando eficazmente los límites de las coronas foliares, lo que permitió cuantificar las especies de majo “15 en San Silvestre, 10 en UMSA-Tumupasa y 250 en El Infierno”, asai “444 en El Infierno” y palmera común “84 en San Silvestre, 123 en UMSA-Tumupasa y 229 en El Infierno”.

**Palabras clave:** segmentación de imágenes, teledetección, palmeras, *Oenocarpus bataua*, *Euterpe precatoria* Mart., distribución espacial, conservación.

### ABSTRACT

The lack of information on the spatial distribution of majo (*Oenocarpus bataua*), asai (*Euterpe precatoria* Mart.) and common date palm (*Phoenix dactylifera*) hinders their conservation and sustainable management. This study aimed to determine said distribution through segmentation techniques, evaluating the precision of three softwares to identify the most effective tool. eCognition achieved superior geometric precision (minimum PSE: 0.021), effectively adjusting the limits of the leaf crowns, which allowed to quantify the species of majo “15 in San Silvestre, 10 in UMSA-Tumupasa and 250 in El Infierno”, asai “444 in El Infierno” and common date palm “84 in San Silvestre, 123 in UMSA-Tumupasa and 229 in El Infierno”.

**Keywords:** image segmentation, remote sensing, palm trees, *Oenocarpus bataua*, *Euterpe precatoria* Mart., spatial distribution, conservation.

### Artículo original

**DOI:** <https://doi.org/10.53287/oxtv8565ob98v>

Recibido: 25/11/2025

Aceptado: 15/12/2025

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería Geográfica, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. [ysandoval@umsa.bo](mailto:ysandoval@umsa.bo)

<sup>2</sup> Carrera de Ingeniería Geográfica, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5126-2137>. [ernestocuenca110@gmail.com](mailto:ernestocuenca110@gmail.com)

<sup>3</sup>\*Autor de correspondencia: Carrera de Ingeniería Geográfica, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8970-3444>. [janunez@umsa.bo](mailto:janunez@umsa.bo)

## INTRODUCCIÓN

En el corazón de la Amazonía Boliviana, en los municipios de Ixiamas y San Buenaventura del departamento de La Paz, se encuentra un tesoro natural de incalculable valor, la exuberante ecorregión del sudeste de la Amazonía. Esta zona alberga una extraordinaria riqueza de especies forestales no maderables.

El majo (*Oenocarpus bataua*) y el asai (*Euterpe precatoria* Mart.) son palmeras de enorme importancia ecológica y económica, que provienen de las zonas tropicales de Sudamérica. En Bolivia, esta especie posee una presencia significativa y representa un recurso esencial para las comunidades originarias. Las comunidades hacen uso del majo y el asai, gracias a su fruto abundante en nutrientes, como en la creación de productos artesanales y medicinales (Moraes, 2020).

Mas allá de su valor comestible, estas especies forestales no maderables ofrecen una amplia gama de usos tradicionales y comerciales, impulsando la economía local y el bienestar de las comunidades. Los frutos del majo y asai, por ejemplo, se consumen frescos o procesados en jugo, refrescos y dulces, mientras que el cacao silvestre se utiliza para elaborar chocolate artesanal de alta calidad.

La ausencia de información lleva a un manejo ineficaz de los recursos naturales, dificultando la identificación de áreas prioritarias para la conservación y preservación de la biodiversidad, así como la habilidad de resistencia de los ecosistemas locales. Adicionalmente, esto impacta negativamente en las potenciales ganancias económicas y el bienestar de las comunidades.

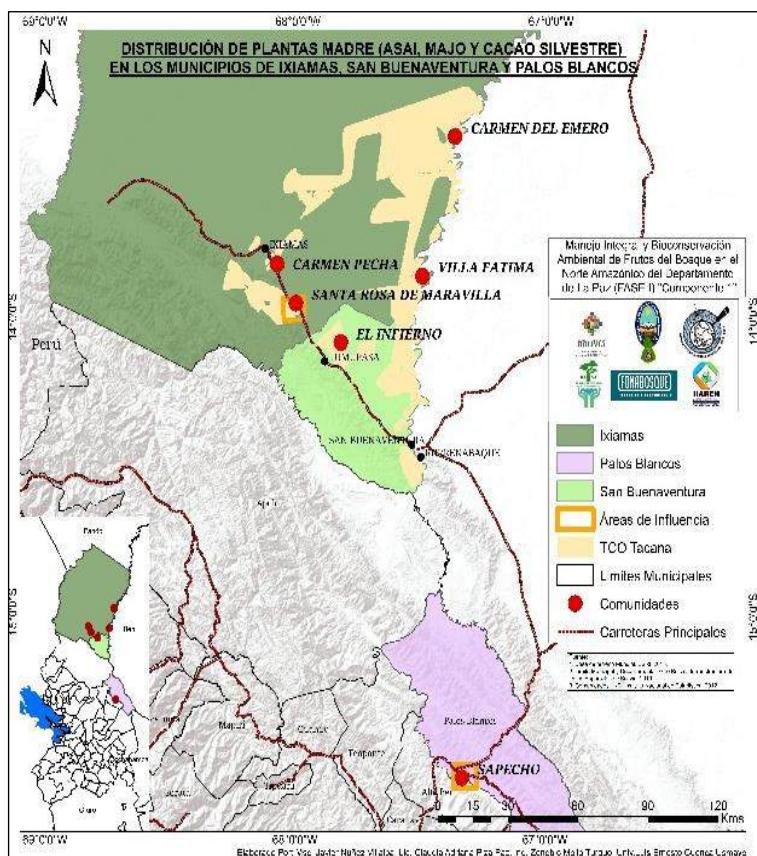
Se busca con esta investigación, un análisis detallado de la segmentación de imágenes a través de tres softwares: ArcGIS Pro eCognition y Quantum GIS. La meta principal consiste en valorar la calidad de la segmentación efectuada por cada software, empleando índices concretos que facilitarán establecer qué programa brinda la mayor exactitud en la segmentación de imágenes.

Investigaciones previas, como las realizadas por Caradona et al. (2016), fueron pioneras en la aplicación de la segmentación multi-resolución en la identificación de invernaderos. Estos estudios aplicaron un enfoque de ensayo y error para la optimización de los parámetros, lo que permitió establecer un marco inicial. Sin embargo, la necesidad de determinar objetivamente los parámetros óptimos ha motivado la aparición de métodos no supervisados, por ejemplo, Vicente (2016), propone una metodología para evaluar la calidad de la segmentación a través de índices como el PSE, NSR Y ED2.

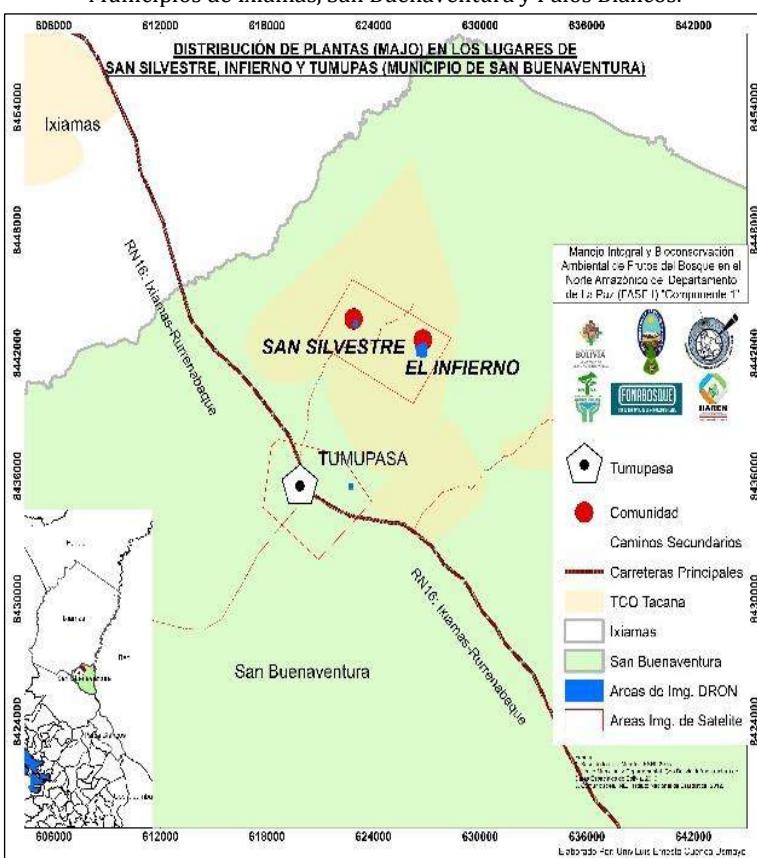
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

Este estudio se realizó en las comunidades de San Silvestre, Parcela de la UMSA-Tumupasa y El Infierno, las cuales pertenecen al distrito de Tumupasa del municipio de San Buenaventura, ubicado al norte 13° 47' 12.48" y 14° 35' 44.03" de latitud sur, abarcando poco más de un grado geográfico y en el hemisferio occidental, entre los meridianos 67° 27' 27.25" y 68° 04' 54.40" de longitud oeste de Greenwich en la provincia de Abel Iturralde. Situado frente a Rurrenabaque en el departamento del Beni (Figura 1).



Municipios de Ixiamas, San Buenaventura y Palos Blancos.



Localización de San Silvestre, El Infierno y Tumupasa.

Figura 1. Localización y sitios en los que se llevó a cabo la segmentación de imágenes de Dron, en las comunidades de San Silvestre, Tumupasa e Infierno.

## Metodología

### Levantamiento de puntos GPS de Palmeras de majo y asai

El primer levantamiento de puntos GPS de la palmera de majo y asai se realizó en la parcela de la UMSA-Tumupasa, ubicada a 2.89 km de la plaza principal de Tumupasa, el 20 de octubre de 2022, para ello se utilizó un GPS Garmin eTrex 10. El trabajo de campo continuó en la comunidad de San Silvestre, a 8.36 km de la plaza principal de Tumupasa, el 9 de noviembre de 2022. Los puntos de las plantas madre de majo y asai se georreferenciaron utilizando GPS. Estas palmeras cuentan con 15 a 20 metros de altura, con troncos rectos con ausencia de enfermedades, floración y un número considerable de racimos.

El 30 de marzo de 2023, se llevó a cabo un levantamiento adicional en la comunidad de El Infierno, que se encuentra a 9.30 km de la plaza principal de Tumupasa. Se utilizaron planillas de campo y GPS para recopilar información en los sitios donde se identificaron las plantas madre de majo y asai.

### Toma de imágenes con dron

Se identificaron las características naturales o artificiales del área de estudio, la topografía y las condiciones meteorológicas para determinar si el lugar es apto o no para el despegue y aterrizaje del dron. Se utilizó los drones Phantom 4 Pro v2 y Phantom 4 Pro v2 Multiespectral, lo que permitió realizar vuelos automáticos para la adquisición de datos en áreas específicas de las comunidades de San Silvestre, El Infierno y Tumupasa. Las especificaciones para cada vuelo del dron fueron las siguientes: apuntando la cámara al nadir ( $90^{\circ}$  con respecto al suelo) con ajustes automáticos, lo cual ayudó a la detección de la forma y el tamaño de la corona foliar sin necesidad de rectificar la imagen durante el posprocesamiento.

### Procesamiento de las imágenes de dron

Se utilizó el programa PIX4Dmapper (Figura 2) para procesar las imágenes del dron, donde se obtuvieron varios productos cartográficos. La principal ventaja de este programa fue su capacidad para procesar e interpretar datos simultáneamente, lo que permitió complementar modelos digitales de elevaciones y ortomosaicos de alta resolución con una precisión aceptable.

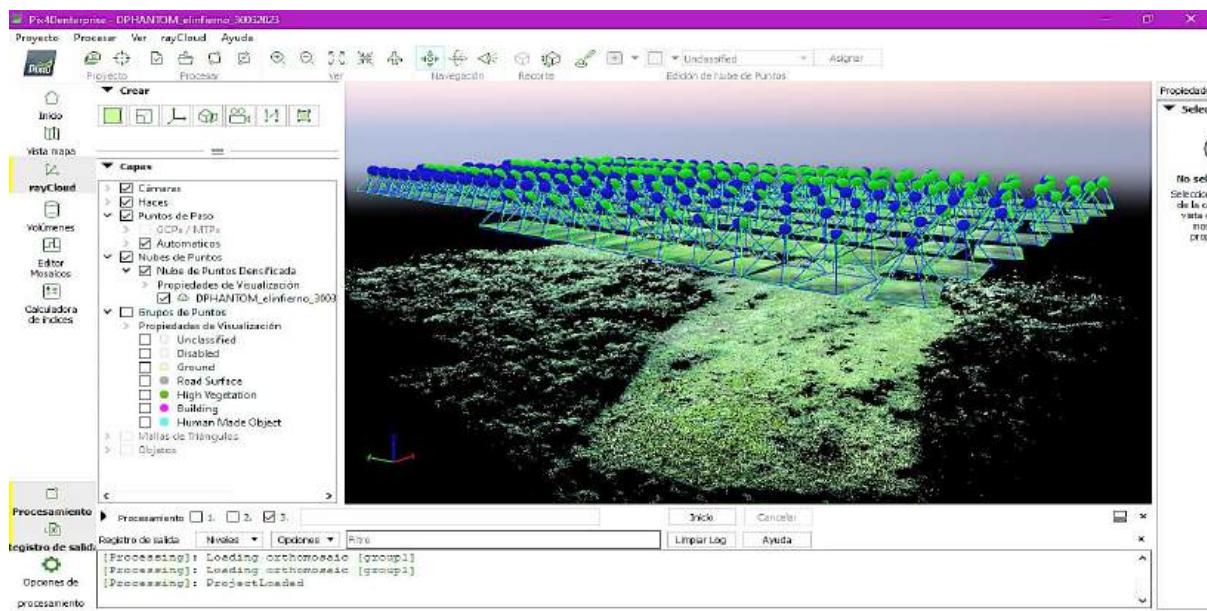


Figura 2. Programa del PIX4Dmapper para el post proceso de las imágenes de dron.

Se analizó las características para identificar las especies de palmeras de majo y asai, así como la palmera común (*Phoenix dactylifera*). El majo se

distingue por su copa redondeada de tamaño medio (5 a 8 m de diámetro), con más de 10 hojas gruesas, y una altura de 12 a 30 metros. El asai, en contraste,

presenta una copa redondeada y pequeña (3 a 6 m de diámetro), hojas más delgadas, y una altitud de 20 a 25 metros. Por su parte, la palmera común también tiene una copa pequeña (3 a 6 m de diámetro) con forma de estrella, altitud de 25 a 30 metros y hojas más gruesas que las de majo, lo que permite diferenciar claramente entre estas especies en imágenes de dron.

### Segmentación en las imágenes de dron

En la segmentación de los mosaicos, se identificó la palmera de majo, asai (Figura 3) y palmera común, sobreponiendo los archivos vectoriales de los puntos georreferenciados de las palmeras para poder extraer la corona foliar de las comunidades de estudio.

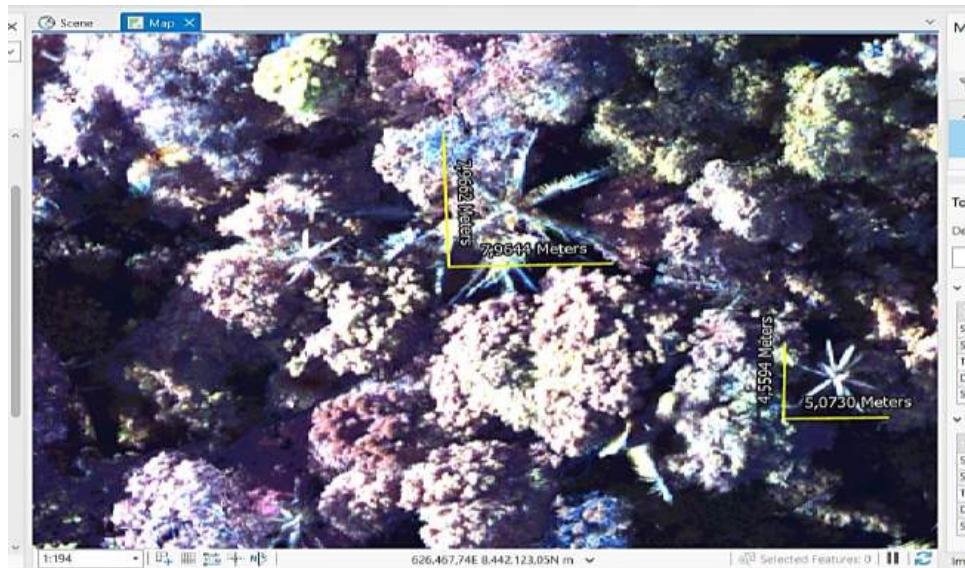


Figura 3. Identificación del majo y asai.

### Segmentación en ArcGIS Pro

El análisis de imágenes se realizó con ArcGIS Pro, un programa SIG de ESRI. La herramienta *Segmentation and Classification* utilizó el algoritmo *Mean shift* para segmentar imágenes ráster. Se utilizó tres parámetros: El detalle espacial, espectral y el área mínima cartografiable (Tabla 1). Cuanto mayor sea el detalle “mayor será el número de segmentos”, por lo contrario, a menor detalle “menor número de segmentos” (ESRI, 2023).

Tabla 1. Parámetros utilizados para la segmentación en el ArcGIS Pro.

Detalle espectral	Detalle espacial	Tamaño mínimo de segmento en pixeles
San Silvestre		
16	16.5	1 901
Parcela UMSA - Tumupasa		
14.5	12	1 309
El Infierno		
16.5	9	2 062
17.5	16	1 130
18	13	1 785
18.5	16	1 172
17	13.5	2 034

### Segmentación en eCognition

La segmentación en eCognition consistió en dividir imágenes en regiones homogéneas para facilitar la identificación de objetos, utilizando el algoritmo Multi-resoluciones. Este proceso se basó en principios de homogeneidad, heterogeneidad, compacidad y escalabilidad, el parámetro de compacidad se mantuvo en 0.5 para obtener segmentos más geométricos (Liu et al., 2010).

Los parámetros clave son: a) escala, determina el tamaño promedio de los segmentos, b) *Shape*, influye en la forma de los segmentos, afectando su regularidad, c) compacidad, controla la geometría de los segmentos, donde un valor alto produce segmentos más compactos y regulares (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros utilizados para la segmentación en el eCognition.

Combinación	Escala	shape	Compactness	Tiempo de procesamiento (h)
<b>San Silvestre</b>				
9	100	0.3	0.5	0.40
11	95	0.3	0.5	0.45
14	90	0.1	0.5	0.50
15	80	0.3	0.5	0.45
<b>Parcela UMSA - Tumupasa</b>				
5	600	0.3	0.5	0.45
11	900	0.3	0.5	0.40
13	1 200	0.3	0.5	0.50
15	1 500	0.3	0.5	0.45
<b>El Infierno</b>				
5-A	50	0.3	0.5	3.40
5-B	60	0.3	0.5	2.10
5-C	100	0.3	0.5	5.22
5-D	105	0.3	0.5	7.11
5-E	95	0.3	0.5	7.30

Tabla 3. Parámetros utilizados en la segmentación en el Quantum GIS.

Combinación	Rango espacial	Radio de alcance	Umbral de convergencia	Número máximo de iteraciones	Tamaño máximo de región	Tiempo de procesamiento (h)
<b>San Silvestre</b>						
1	1	12	0.1	200	100	0.45
5	10	18	10.1	50	140	0.50
10	15	90	20.1	50	400	1.50
15	30	200	60.1	50	800	3.00
<b>Parcela UMSA - Tumupasa</b>						
1	1	12	0.1	50	200	1.20
6	15	90	20.1	50	400	5.00
8	30	200	60.1	50	800	3.00
12	60	400	120.1	50	1 000	5.00
<b>El Infierno</b>						
5 - A	60	400	120.1	50	1 000	2.33
5 - B	60	400	120.1	50	1 000	2.22
5-C	60	400	120.1	50	1 000	7.44
5-D	60	400	120.1	50	1 000	7.33
5-E	64	404	124.1	50	1 400	7.15

### Evaluación de la eficiencia, calidad de segmentación

Las métricas utilizadas para evaluar la segmentación se centran en el escenario donde se han identificado previamente los objetos de referencia (corona foliar del majo, asai y palmera común). ED2 es una métrica para evaluar la calidad de la segmentación que busca optimizar las discrepancias geométricas y aritméticas entre los segmentos evaluados y los objetos de referencia (Li y Xiao. 2012). El error potencial de segmentación (PSE), que compara el área total de los segmentos con el área de referencia, se utiliza para medir las discrepancias geométricas (Ecuación 1).

### Segmentación en Quantum GIS

En la segmentación de imágenes del programa Quantum GIS, se aplicó el algoritmo de desplazamiento medio (*Mean shift*). Implementado en el Orfeo ToolBox (OTB) y facilita la obtención de diversas conclusiones de segmentación al fusionar diversos parámetros de entrada, destacando entre los más relevantes radio espacial, radio de color, umbral de convergencia, máximo número de iteraciones y tamaño máximo de región (QGIS. 2022) (Tabla 3).

Los valores altos de PSE indican que las áreas de referencia no coinciden con las áreas del segmento, mientras que cero indica coincidencia perfecta.

$$PSE = \frac{\sum |si - rk|}{\sum |rk|} \quad (1)$$

Además, ED2 utiliza el índice de relación de número de segmentos (NSR), que mide la diferencia entre el número de polígonos de referencia y el número de segmentos correspondientes, para incluir la discrepancia aritmética (Ecuación 2). Un valor de NSR cero indica una correspondencia perfecta en el número de segmentos. Por el contrario, un valor alto

indica inconsistencia entre el número de segmentos y el número de áreas de referencia.

$$NSR = \frac{abs(m-v)}{m} \quad (2)$$

Finalmente, (ED2) combina ambas medidas: un valor de cero indica una segmentación perfecta tanto geométrica como aritméticamente (Ecuación 3), mientras que valores altos reflejan discrepancias significativas en ambas dimensiones.

$$ED2 = \sqrt{(PSE)^2 + (NSR)^2} \quad (3)$$

Yang et al. (2014) señalaron que ED2 combina discrepancias geométricas (PSE) y aritméticas (NSR), pero en algunos casos puede exagerar la sobresegmentación. Esto es especialmente cierto en los casos en los que el PSE prevalece sobre el NSR. Además, la coexistencia de sobre- y subsegmentaciones puede invalidar el NSR, lo que puede afectar la precisión métrica. Los autores propusieron las métricas locales OS2, US2 y ED3 para mejorar este problema.

OS2 mide la sobresegmentación, donde valores altos indican exceso de fragmentación, lo que dificulta identificar correctamente los objetos (Ecuación 4).

$$OS2 = \sum_i \sum_j \left( 1 - \frac{area(r_i \cap s_j)}{area(r_i)} \right) \quad (4)$$

US2 evalúa la subsegmentación, con valores altos que sugieren que regiones separadas deberían estar unidas, complicando la identificación de objetos

individuales (Ecuación 5).

$$US2 = \sum_i \sum_j \left( 1 - \frac{area(r_i \cap s_j)}{area(s_j)} \right) \quad (5)$$

ED3 combina OS2 y US2 para ofrecer una evaluación más completa de la segmentación. Un valor bajo de ED3 indica una segmentación cercana a la referencia, mientras que un valor alto sugiere errores en la clasificación o fusión de regiones (Ecuación 6).

$$ED3 = \sum_i \sum_j \sqrt{\frac{(1 - \frac{area(r_i \cap s_j)}{area(s_j)})^2 + (1 - \frac{area(r_i \cap s_j)}{area(r_i)})^2}{2}} \quad (6)$$

#### Evaluación de segmentación en ArcGIS Pro

San Silvestre mostró PSE y NSR bastante bajos, lo que indica, una coincidencia moderada tanto en área como en número de segmentos. Aunque las métricas OS2 y US2 sugieren que puede haber fragmentación, las métricas ED2 y ED3 muestran resultados aceptables, lo que indica una buena calidad de segmentación. La parcela UMSA - Tumupasa tuvo valores más altos en PSE y NSR, lo que indicó que la segmentación tiene más variaciones geométricas y aritméticas en comparación con San Silvestre. La métrica indica que este método puede no ser el mejor para el análisis de los objetos de interés específicos. El Infierno (5) destaca por su bajo PSE y NSR, mostró buenos resultados en términos de segmentación, lo que indica que las áreas identificadas son generalmente correctas (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de la segmentación en las imágenes de dron en ArcGIS Pro.

Combinación	PSE	NSR	ED2	OS2	US2	ED3
San Silvestre						
16-16.5-1901	0.29	0.34	0.44	0.41	0.40	0.46
Parcela UMSA - Tumupasa						
14.5-12-1309	0.41	0.44	0.56	0.50	0.48	0.56
El Infierno						
16.5-9-2062	0.21	0.49	0.44	0.08	0.21	0.11
17.5-16-1130	0.24	0.34	0.36	0.59	0.36	0.55
18-13-1785	0.26	0.86	0.89	0.38	0.17	0.33
18.5-16-1172	0.64	0.27	0.69	0.12	0.02	0.09
17-13.5-2034	0.20	0.29	0.35	0.10	0.02	0.07

En general, San Silvestre es la combinación que proporciona mejores resultados en términos de precisión y correspondencia, mientras que Parcela UMSA - Tumupasa y algunos escenarios de El Infierno deben ajustarse para mejorar la identificación precisa

de los diferentes tipos de palmeras y su distribución. La implementación de métricas adicionales como OS2, US2 y ED3 resulta crucial para obtener una evaluación más holística y precisa de la calidad de la segmentación (Figura 4).

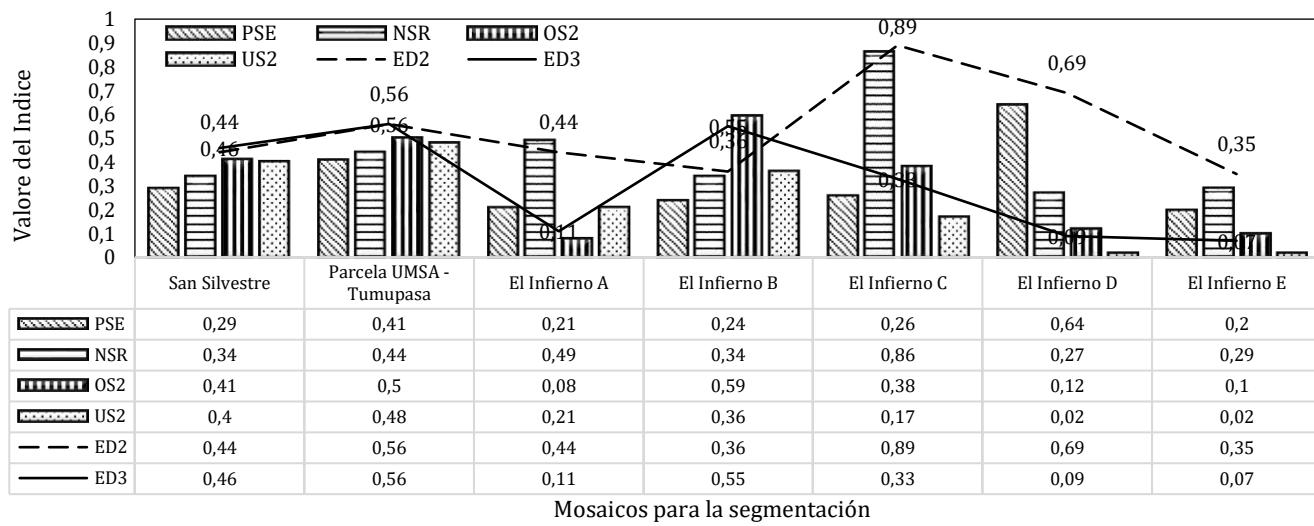


Figura 4. Comparación de la evaluación de la segmentación en ArcGIS Pro.

#### Evaluación de segmentación en eCognition

La combinación ideal de San Silvestre es 80-0.3-0.5, con PSE: 0.021, lo que indicó una alta precisión en la segmentación. Un valor bajo en PSE es positivo, lo que indica que la segmentación está bien alineada con los datos reales. NSR es de 0.41, un valor NSR moderado que indica una cantidad razonable de segmentos incorrectos. Sin embargo, trabajar para reducirlo aún

más es crucial. El ED2 es 0.41 y el ED3 es 0.36. Ambos valores se encuentran en un rango aceptable, lo que indica que los segmentos están distribuidos de manera equitativa y que hay una buena separación entre ellos. OS2 muestra 0.42 y US2 0.24, lo que indica una superposición adecuada entre segmentos, mientras que US2 muestra una cierta dispersión, aunque aún controlable (Tabla 5).

Tabla 5. Comparación de la segmentación en las imágenes de dron en eCognition.

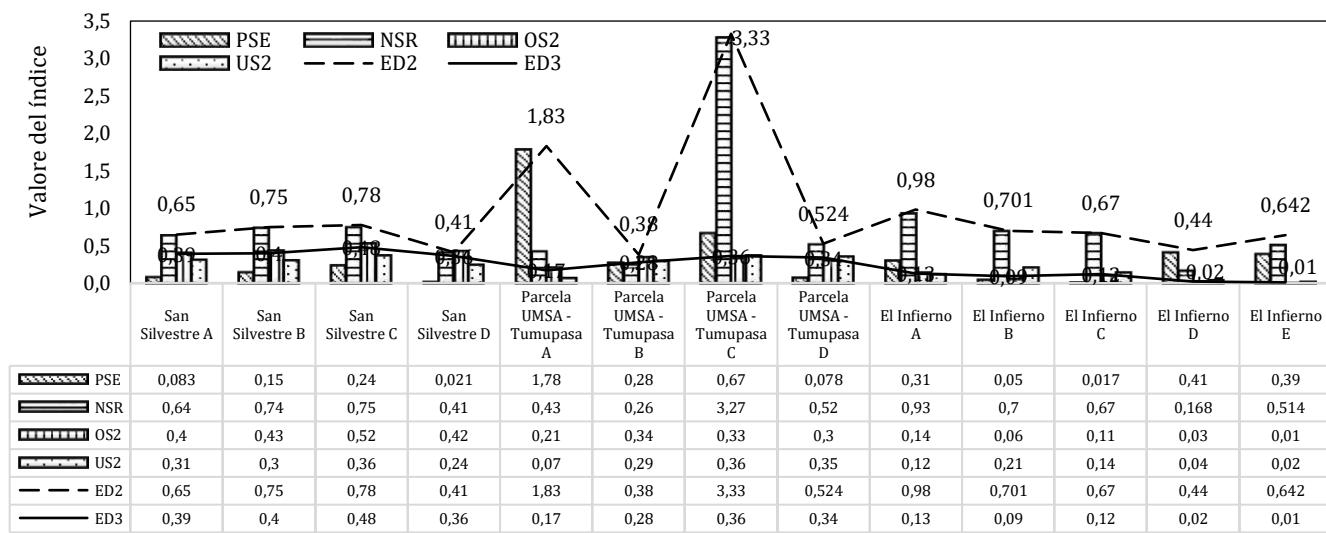
Combinación	PSE	NSR	ED2	OS2	US2	ED3
<b>San Silvestre</b>						
100-0.3-0.5	0.083	0.64	0.65	0.40	0.31	0.39
95-0.3-0.5	0.15	0.74	0.75	0.43	0.30	0.40
90-0.1-0.5	0.24	0.75	0.78	0.52	0.36	0.48
80-0.3-0.5	0.021	0.41	0.41	0.42	0.24	0.36
<b>Parcela UMSA - Tumupasa</b>						
600-0.3-0.5	1.78	0.43	1.83	0.21	0.07	0.17
900-0.3-0.5	0.28	0.26	0.38	0.34	0.29	0.28
1200-0.3-0.5	0.67	3.27	3.33	0.33	0.36	0.36
1500-0.3-0.5	0.078	0.52	0.524	0.30	0.35	0.34
<b>El Infierno</b>						
50-0.3-0.5	0.31	0.93	0.98	0.14	0.12	0.13
60-0.3-0.5	0.05	0.7	0.701	0.06	0.21	0.09
100-0.3-0.5	0.017	0.67	0.67	0.11	0.14	0.12
105-0.3-0.5	0.41	0.168	0.44	0.03	0.04	0.02
95-0.3-0.5	0.39	0.514	0.642	0.01	0.02	0.01

La combinación ideal de UMSA y Tumupasa es 1 500-0.3-0.5, con un PSE de 0.078. A pesar de que es más alto que el de San Silvestre, todavía muestra una precisión aceptable en la segmentación. NSR: 0.52, Un NSR bastante alto, lo que indica que hay más segmentos incorrectos que en San Silvestre. Es importante considerar una revisión de segmentación.

El ED2 es de 0.524 y el ED3 es de 0.34. ED3 demostró una buena congruencia, mientras que ED2 demostró una mayor variabilidad en la distribución de segmentos. OS2 es de 0.30 y US2 de 0.35, lo que indica una mayor sobreposición, mientras que US2 es un poco más alto, lo que indica una cierta dispersión.

En El Infierno la mejor combinación es 95-0.3-0.5, con SE: 0.4, Este valor indica una baja precisión de segmentación, que debe mejorarse. Un alto PSE indica que los segmentos no se alinean con los datos. NSR: 0.168, un valor excelente de NSR, lo que indica que hay pocos segmentos incorrectos a pesar de la alta PSE, lo que es bueno. El ED2 es 0.44 y el ED3 es 0.02.

La separación entre segmentos es fuerte a pesar de la alta PSE, ya que ED2 mostro una distribución buena, pero ED3 muestra un error mínimo. US2: 0.04 y OS2: 0,03, respectivamente. valores extremadamente bajos que indican una excelente congruencia entre los segmentos, lo que facilita su identificación.



Mosaicos para la segmentación

Figura 5. Comparación de la evaluación de la segmentación eCognition.

#### Evaluación de la segmentación en Quantum GIS

San Silvestre mostró un PSE de 0.777 en la combinación 15-90-20.1-50-400, lo que indica un problema moderado con la precisión de la segmentación. El valor de NSR de 2 indica que hay cierto número de segmentos incorrectos. El ED2 de

2.118 proporcionó una separación efectiva entre segmentos, pero el OS2 (0.35) demostró cierta concordancia que podría mejorarse. US2 y ED3 tienen valores relativamente bajos, lo que indica una buena congruencia entre los segmentos; sin embargo, la precisión de la segmentación requiere atención (Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de la segmentación en las imágenes de DRON en Quantum GIS.

Combinación	PSE	NSR	ED2	OS2	US2	ED3
<b>San Silvestre</b>						
1-12-0.1-200-100	0.894	6.91	6.96	0.17	0.02	0.13
10-18-10.1-50-140	0.793	4.93	4.993	0.23	0.03	0.16
15-90-20.1-50-400	0.777	2.00	2.118	0.35	0.06	0.25
30-200-60.1-50-800	0.912	2.55	2.72	0.42	0.02	0.30
<b>Parcela UMSA - Tumupasa</b>						
1-12-0.1-50-200	0.545	2.60	2.65	0.28	0.16	0.25
15-90-20.1-50-400	0.1901	1.43	1.4425	0.28	0.17	0.26
30-200-60.1-50-800	0.0375	1.28	1.2805	0.26	0.21	0.26
60-400-120.1-50-1000	0.7994	0.96	1.188	0.23	0.32	0.27
<b>El Infierno</b>						
60-400-120.1-50-1000	0.7579	0.95	1.2103	0.07	0.08	0.05
60-400-120.1-50-1000	0.788	1.4435	1.637	0.07	0.09	0.06
60-400-120.1-50-1000	0.91	2.12	2.03	0.06	0.05	0.05
60-400-120.1-50-1000	0.8225	0.58	1.004	0.03	0.04	0.03
60-400-120.1-50-1000	0.94	0.59	1.114	0.17	0.00	0.12

La combinación 60-400-120.1-50-1000 presenta un PSE de 0.7994 en la parcela UMSA - Tumupasa, lo que indica una segmentación aceptable, aunque aún mejorable. Indicó una baja cantidad de segmentos incorrectos con un NSR de 0.96, lo cual es positivo. Además, ED2 de 1.188 reveló una separación adecuada entre segmentos. Sin embargo, los valores OS2 (0.23) y US2 (0.32) indican que hay margen para mejorar la congruencia y la precisión de la identificación de segmentos.

Se encontró una combinación de 60-400-120.1-50-1000 con un PSE de 0.8225 en El Infierno, lo que indica una buena precisión de segmentación. El NSR de 0.58 indica que hubo pocos segmentos incorrectos, lo que es excelente. Además, ED2 de 1.004 muestra una separación de segmentos buena. Los valores OS2 muy bajos (0.03) y US2 indican una congruencia excelente entre los segmentos, lo que facilita su identificación y alineación con los datos (Figura 6).

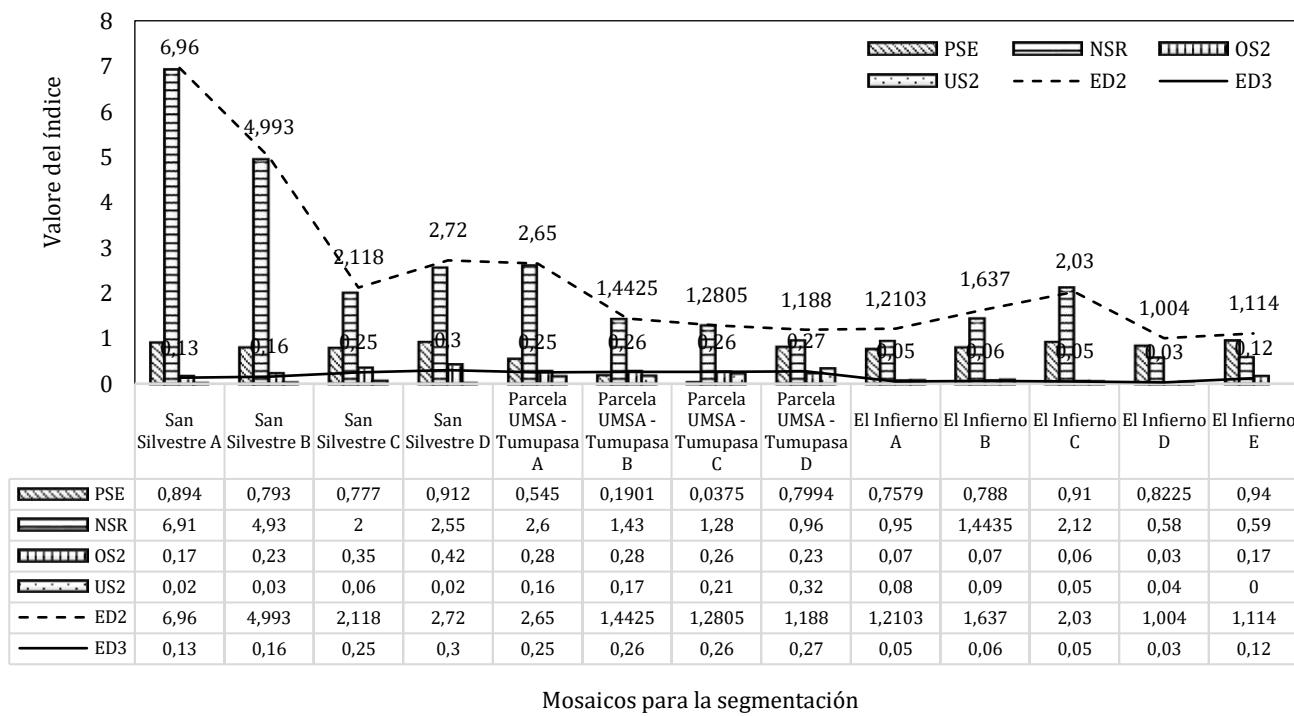


Figura 6. Comparación de la Evaluación de la Segmentación en Quantum GIS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó una comparación de las segmentaciones obtenidas de los softwares ArcGIS Pro, eCognition y Quantum GIS para elegir las tres segmentaciones más

efectivas para comparar y elegir el software con las métricas de segmentación más efectivas. Esto se basó en nuestras muestras de coronas foliares de majo, asai y palmera común.

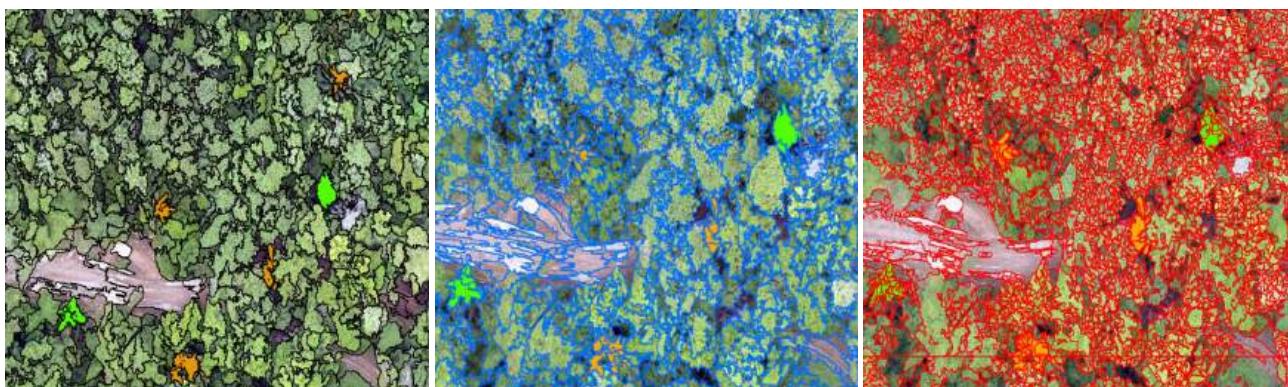


Figura 7. Comparación de la segmentación en los tres softwares en San Silvestre.

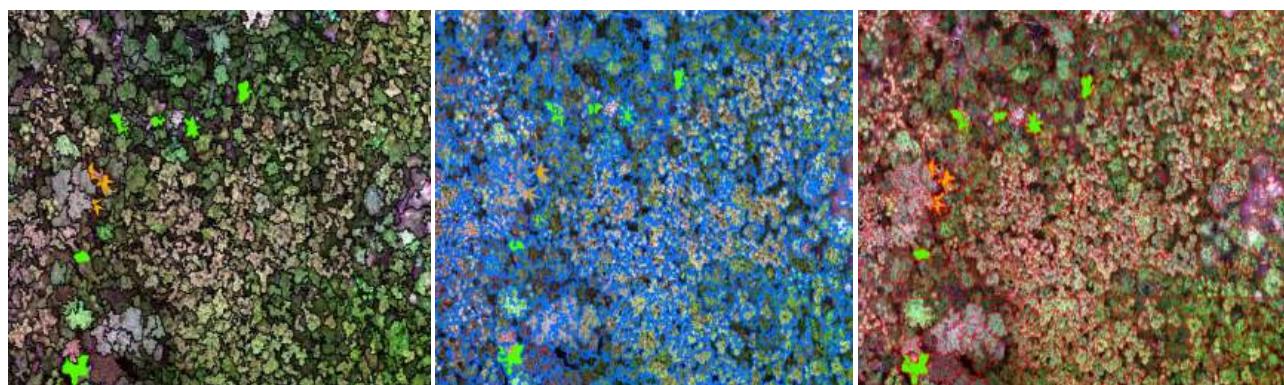


Figura 8. Comparación de la segmentación en los tres softwares en la Parcela de la UMSA.

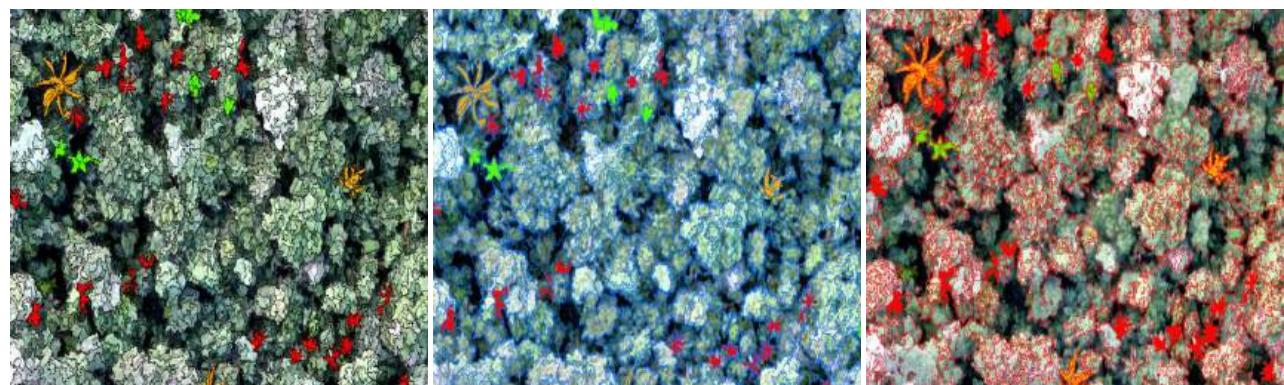


Figura 9. Comparación de la segmentación en los tres softwares en El Infierno.

La segmentación, un proceso crucial del análisis de imágenes y datos geográficos, permitió identificar majo, asai y palmera común, dentro de las comunidades de San Silvestre, parcela de UMSA-Tumupasa y El Infierno. Se utilizó ArcGIS Pro, eCognition y Quantum GIS para evaluar la precisión

de segmentación (PSE), la tasa de segmentación errónea (NSR) y la distribución y separación (ED2). Además, métricas adicionales como OS2, US2 y ED3. Los resultados obtenidos demostraron la eficacia de cada software (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación de la segmentación en los tres softwares.

Combinación	Lugar	PSE	NSR	ED2	OS2	US2	ED3
<b>ArcGIS Pro</b>							
16-16.5-1901	San Silvestre	0.29	0.34	0.44	0.41	0.40	0.46
14.5-12-1309	Parcela UMSA - Tumupasa	0.41	0.44	0.56	0.50	0.48	0.56
17-13.5-2034	El Infierno	0.20	0.29	0.35	0.10	0.02	0.07
<b>eCognition</b>							
80-0.3-0.5	San Silvestre	0.021	0.41	0.41	0.42	0.24	0.36
1 500-0.3-0.5	Parcela UMSA - Tumupasa	0.078	0.52	0.524	0.30	0.35	0.34
105-0.3-0.5	El Infierno	0.41	0.168	0.44	0.03	0.04	0.02
<b>Quantum GIS</b>							
15-90-20.1-50-400	San Silvestre	0.777	2.00	2.118	0.35	0.06	0.25
60-400-120.1-50-1 000	Parcela UMSA - Tumupasa	0.7994	0.96	1.188	0.23	0.32	0.27
60-400-120.1-50-1 000	El Infierno	0.8225	0.58	1.004	0.03	0.04	0.03

En ArcGIS Pro, San Silvestre mostró las métricas moderadas, con un PSE de 0.29 y un NSR de 0.34, lo que indica que ArcGIS Pro genera una segmentación bastante equilibrada. Sin embargo, no se puede decir que sea muy preciso. La parcela

UMSA - Tumupasa mostró un aumento del PSE (0.41) y del NSR (0.44), lo que indica un desempeño aceptable, pero con una tendencia a aumentar el error de segmentación en comparación con San Silvestre. El Infierno muestra que el PSE es más bajo (0.20), lo que

indica una segmentación más precisa en este sitio. ArcGIS Pro es más efectivo en este ámbito, según el NSR (0.29), que muestra un buen nivel de superposición entre segmentos.

En eCognition, San Silvestre destaca por tener un PSE muy bajo (0.021), lo que indica una segmentación extremadamente precisa. A pesar de que el NSR es mayor (0.41), el PSE bajo indica que los segmentos están bien ajustados a las áreas de referencia. La parcela UMSA de Tumupasa: Aunque el PSE es mayor que en San Silvestre (0.078), sigue siendo bajo, lo que indica una segmentación precisa. El NSR es un poco alto (0.52), lo que indica problemas con la sobre o subsegmentación. El Inferno: el PSE (0.41) es el más alto entre los lugares analizados con eCognition, lo que indica que la segmentación en este sitio es menos precisa. Sin embargo, el NSR es bajo (0.168), lo que indica que el software segmenta áreas con un error de superposición más bajo.

En Quantum GIS, en San Silvestre, el rendimiento es extremadamente bajo, con un PSE excepcionalmente alto (0.777) y un NSR extremadamente alto (2.00), lo que indica una sobresegmentación y segmentación imprecisa graves. La parcela UMSA - Tumupasa sigue teniendo valores elevados (PSE: 0.7994, NSR: 0.96), lo

que indica una baja precisión en este lugar. El Infierno: Los resultados son consistentes con los de los otros lugares, con un PSE alto (0.8225) y un NSR alto (0.58), lo que indica una segmentación deficiente.

Los resultados demostraron que eCognition fue claramente el mejor software, y las tres comunidades (San Silvestre, parcela UMSA-Tumupasa y El Infierno) tuvieron índices de PSE bajos. Esto demostró que era más preciso identificar y ajustar segmentos a las áreas de interés. Aunque el NSR varió, eCognition fue la opción más confiable debido a sus valores bajos de PSE.

Sin embargo, ArcGIS Pro generó una variedad de resultados, con énfasis en "El Infierno" y "San Silvestre", pero fue menos preciso en "parcela UMSA - Tumupasa". Fue una opción aceptable a pesar de que no era tan precisa como eCognition.

Las comunidades San Silvestre, parcela UMSA-Tumupasa y El Infierno mostraron un alto nivel de sobresegmentación, según las métricas de Quantum GIS. Esto señaló que el análisis de la distribución de majo, asai y palmera común no fue adecuado. Por lo tanto, para estos estudios se requería una mayor precisión en la segmentación (Figura 10).

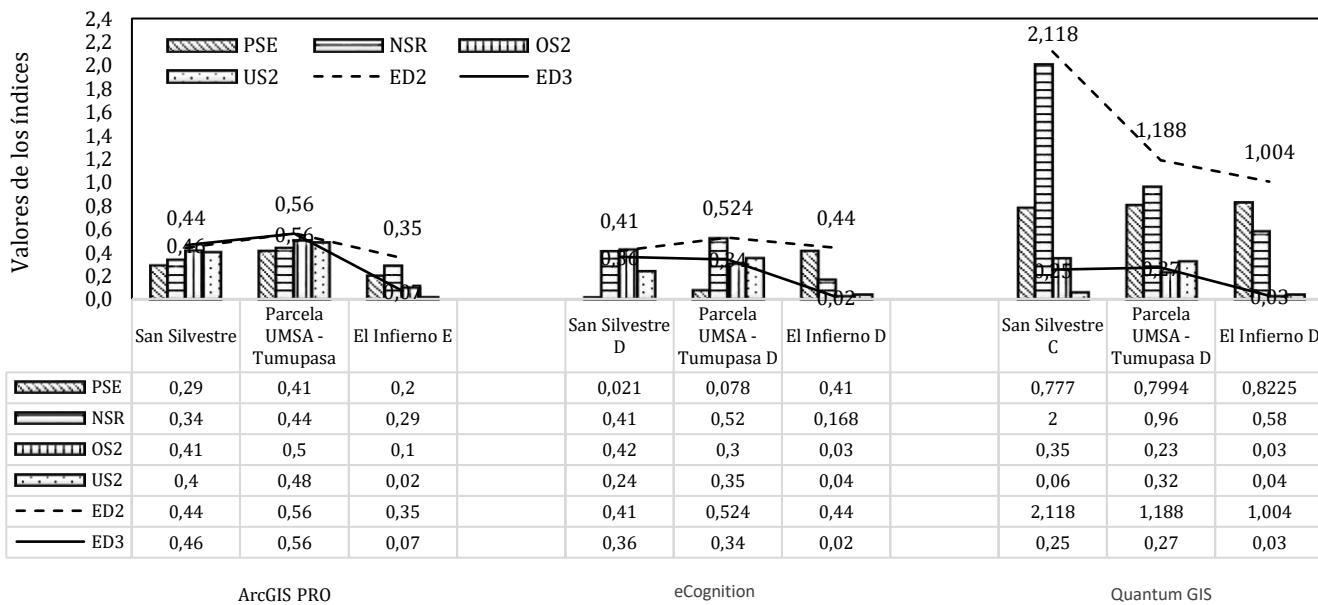


Figura 10. Comparación de los índices de calidad de segmentación en los tres softwares.

La Figura (11) muestra la comparación del número de especies detectadas en San Silvestre entre la palmera común, que presenta 84 especies representadas por color verde, y el majo, que cuenta con 15 especies,

simbolizadas por un color anaranjado. Se destaca que la palmera común tiene una cantidad significativamente mayor de especies en comparación con el majo.

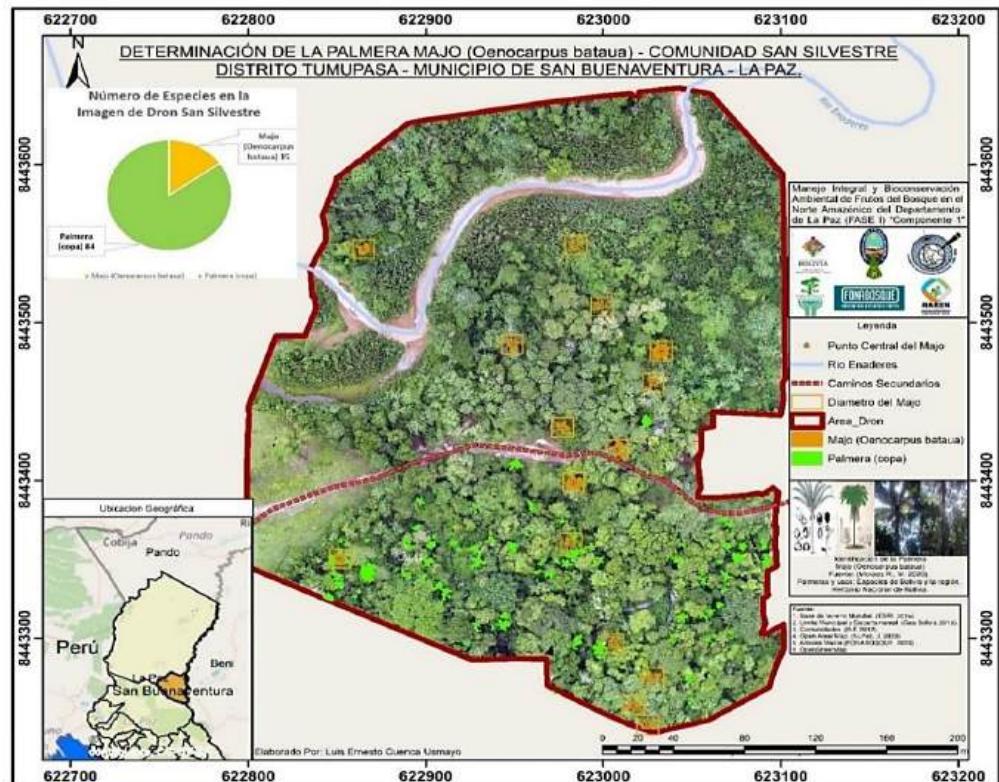


Figura 11. Identificación de número de especies en la imagen de dron de San Silvestre.

La Figura (12) presenta la cantidad de especies identificadas en la parcela de la UMSA - Tumupasa, comparando la palmera común, que tiene un total de 123 especies representadas de color verde, con el

majo, que solo cuenta con 10 especies, simbolizadas de color anaranjada. La gráfica muestra que la palmera común es significativamente más abundante que el majo.

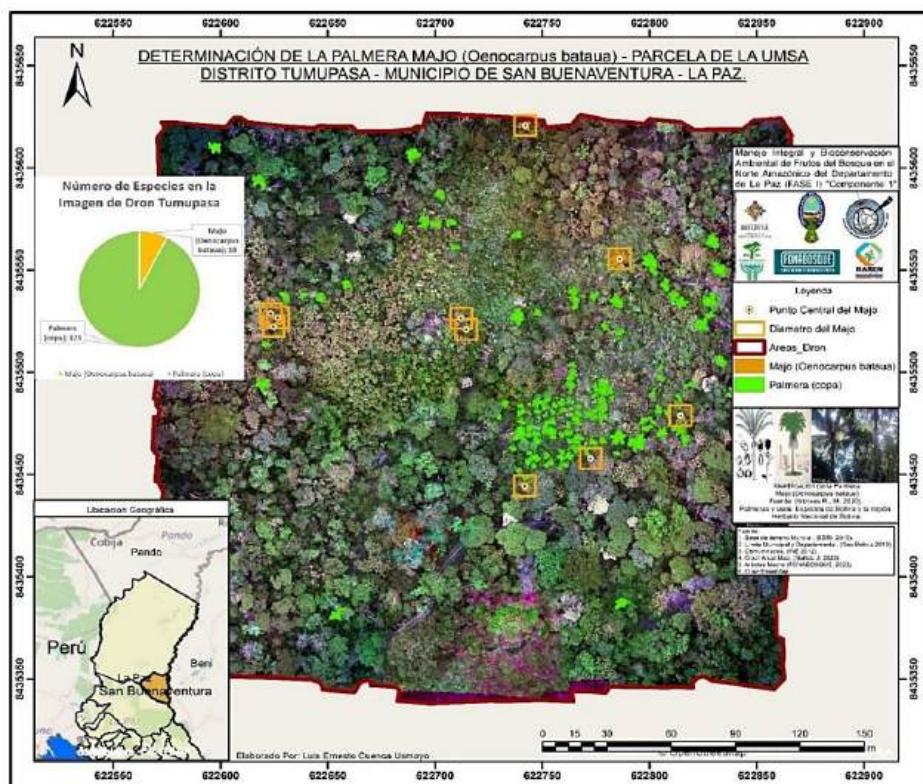


Figura 12. Identificación de número de especies en la imagen de dron de la parcela de la UMSA-Tumupasa.

La Figura 13 muestra la cantidad de especies identificadas en "El Infierno", comparando tres tipos de especies: el asai con 444 especies, representado de color rojo; el majo con 250 especies, simbolizado de

color anaranjada; y la palmera común con 229 especies, de color verde. La gráfica revela que el asai es la especie más abundante, seguido por el majo y luego la palmera común.

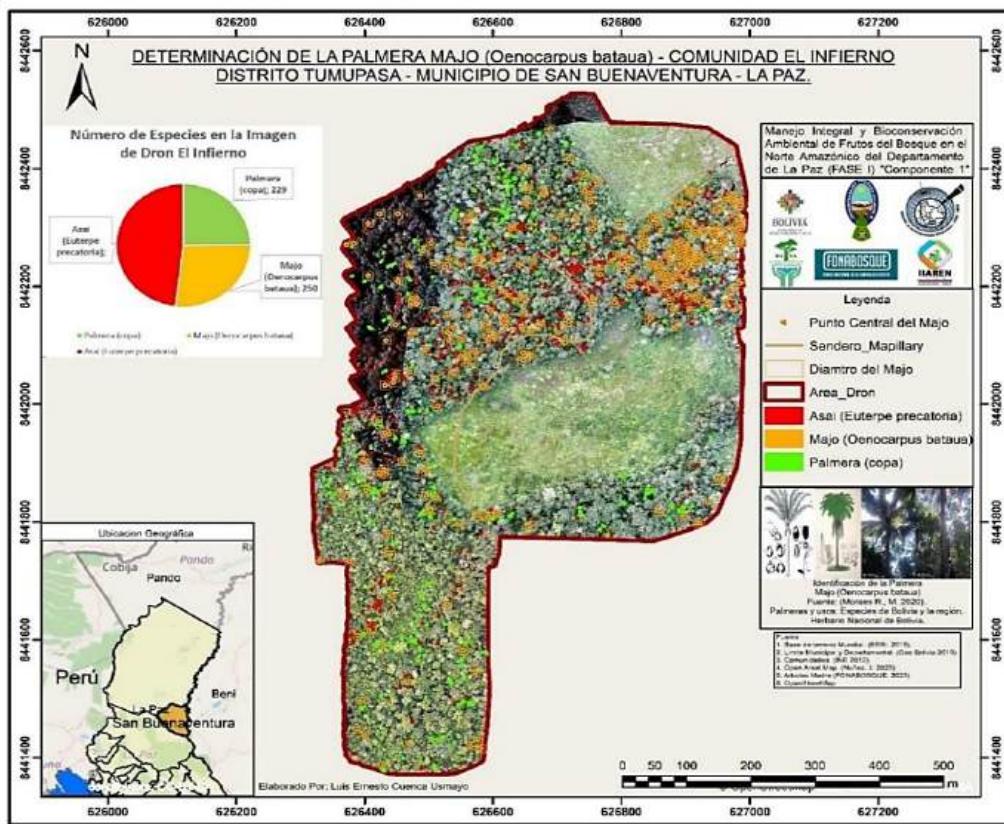


Figura 13. Identificación de número de especies en la imagen de dron de El Infierno.

## CONCLUSIONES

En las tres áreas de estudio, eCognition se estableció como el software de segmentación de imágenes más efectivo. La proporción de segmentos incorrectos (PSE) más baja indica que la identificación de coronas foliares es más precisa. ArcGIS Pro mostró resultados aceptables, especialmente en el sitio de El Infierno, pero en general no cumplía con los resultados de eCognition. A pesar de su popularidad, Quantum GIS ofrece los mejores resultados en términos de consistencia, pero su segmentación no es muy precisa.

En San Silvestre, eCognition y ArcGIS Pro ofrecieron la segmentación más precisa. Sin embargo, los errores más graves fueron cometidos por Quantum GIS. eCognition vuelve a ser el mejor en la Parcela UMSA-Tumupasa, seguido por ArcGIS Pro, mientras que Quantum GIS tuvo problemas para identificar segmentos.

En El Infierno, eCognition supera a ArcGIS Pro en términos de precisión, aunque ArcGIS Pro también funciona bien en este sitio. Quantum GIS tiene los errores más graves.

Al hacer una comparación de especies, se descubrió que en el área de San Silvestre hay 84 especies de palmera común en comparación con solo 15 especies de majo, lo que indica una gran prevalencia de palmera común. La parcela UMSA - Tumupasa tiene 123 especies de palmera común, mientras que Majo solo tiene 10 especies, lo que confirma la tendencia de San Silvestre.

Con 444 especies, el asai es la especie más común en El Infierno. Existe una variedad de 229 especies de palmera común, mientras que el majo tiene 250. Esto indica que el asai puede ser más común en ciertos lugares que la palmera común.

Sin embargo, la calidad de segmentación de Quantum GIS fue un problema importante. Según las métricas, existe una tendencia a sobresegmentar, lo que resulta en una segmentación menos precisa. A pesar de ser una herramienta común y gratuita, no es adecuada para estudios que requieren precisión extrema, como la segmentación de áreas de interés ecológico. Además, se utilizó el software eCognition para calcular la cantidad de especies presentes en las imágenes de dron segmentadas. En las áreas de estudio: San Silvestre, Parcela UMSA - Tumupasa y El Infierno, se identifica la corona foliar del majo, asai y la palmera común.

## Agradecimientos

Agradecemos al proyecto "Manejo Integral y Bioconservación Ambiental de Frutos del Bosque en el Norte Amazónico del Departamento de La Paz (FASE 1)" por permitirnos ser parte del grupo de investigadores, al M.Sc. Hugo Bosque Sánchez, al Ing. José Luis Calle Peralta por su liderazgo y dirección en el proyecto, al M.Sc. Javier Núñez Villalba por su coordinación en el Componente 1, a la Lic. Claudia Adriana Piza Paz, Ph.D. Yuri Sandoval Montes, M.Sc. Juan José Flores, Ing. Zenobio Mollo Turco, cuyo trabajo en el Instituto de Investigaciones Geográficas fue fundamental para el éxito del componente. Además, agradecemos al Fondo Nacional de Desarrollo Forestal (Fonabosque) y a la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) por su ayuda financiera y logística que hizo posible la realización de este proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

Caradona, G., Novelli, A., Tarantino, E., Cefalo, R., & Fratino, U. (2012). A webgis framework for disseminating processed remotely sensed on land cover

transformations.

<https://bibliotekanauki.pl/articles/106878.pdf>

ESRI (2023). Image segmentation. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/image-segmentation.htm>

Liu, Y., Bian, L., Meng, Y., Wang, H., Zhang, S., Yang, Y., Shao, X., & Wang, B. (2010) Discrepancy measures for selecting optimal combination of parameter values in object-based image analysis. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 68(2012), 144-1. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.01.007>

Li, P., & Xiao, X. (2012). Multispectral image segmentation by a multichannel watershed-based approach. International Journal of Remote Sensing, 28, 4429-4452. <https://doi.org/10.1080/01431160601034910>

Moraes, M. (2020). Palmeras y usos: Especies de Bolivia y la región. Herbario Nacional de Bolivia, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, Plural editores. 136 p.

[https://www.researchgate.net/profile/Monica-Moraes-R/publication/342150637\\_Palmeras\\_y\\_usos\\_Especies\\_de\\_Bolivia\\_y\\_la\\_region/links/5ee4c6b8458515814a5b8e84/Palmeras-y-usos-Especies-de-Bolivia-y-la-region.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Monica-Moraes-R/publication/342150637_Palmeras_y_usos_Especies_de_Bolivia_y_la_region/links/5ee4c6b8458515814a5b8e84/Palmeras-y-usos-Especies-de-Bolivia-y-la-region.pdf)

QGIS Development Team. (2022). QGIS Geographic Information System. Open Source. Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>

Orfeo ToolBox. (s.f.). Segmentación de componentes conectados.

[https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook-9.0/Applications/app\\_Segmentation.html#connected-components-options](https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook-9.0/Applications/app_Segmentation.html#connected-components-options)

Vicente, M. (2016). Calidad de la Segmentación y precisión de la Clasificación en Teledetección Orientada a Objetos. Caso de los invernaderos de Almería. [https://w3.ual.es/Proyectos/GreenhouseSat/index\\_archivos/TFM\\_Carmen\\_Vicente.pdf](https://w3.ual.es/Proyectos/GreenhouseSat/index_archivos/TFM_Carmen_Vicente.pdf)

Yang, J., Li, P., & He, Y. (2014). A multi-band approach to unsupervised scale parameter selection for multi-scale image segmentation. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Accepted. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.04.008>